
DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-S-I-99-102
УДК 621.131.8
EDN: LZYDBU

Т.С. Зайцева

АО «Силовые машины» – завод «Электросила», Санкт-Петербург, Россия

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

В настоящее время для забортного оборудования применяются электродвигатели маслозаполненные разгруженной конструкции с узлом уплотнения вала. Важнейшей проблемой создания таких электродвигателей является защита их активной зоны – обмотанных сердечников статора и ротора от окружающей среды. Наиболее перспективные с точки зрения надежности электродвигатели – это электродвигатели переменного тока погружные, безуплотнительные. В работе рассмотрен погружной синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, описаны особенности конструкции.

Цель исследования – выявление особенностей конструкции электродвигателя погружного исполнения на постоянных магнитах.

Объект исследования – электродвигатель погружного исполнения на постоянных магнитах.

Предмет исследования – конструкция электродвигателя погружного исполнения на постоянных магнитах.

При проведении исследования использовались следующие методы: 1) эмпирического уровня – сравнение конструкций машин; 2) экспериментально-теоретического уровня – эксперимент, лабораторный опыт, анализ материалов и конструкций узлов, а также моделирование результатов электромеханического расчета; 3) теоретического уровня – анализ полученных результатов.

Теоретическая ценность исследования заключается в техническом решении разработки погружного синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов: большая тяга конструкции «двигатель – винт», высокая ремонтопригодность, способность модульной замены за счет того, что ротор, статор и винт выполняются в виде отдельных модулей и могут быть заменены при повреждении. Основное применение машины с возбуждением от постоянных магнитов находят в качестве гребных электродвигателей.

Ключевые слова: электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов погружного исполнения, двигатель, постоянные магниты, конструкция двигателя, ротор, статор.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-S-I-99-102
UDC 621.131.8
EDN: LZYDBU

T.S. Zaitseva

Electrosila, JSC “Power machines”, St. Petersburg, Russia

SPECIFIC FEATURES OF A SUBMERSIBLE MOTOR EXCITED BY PERMANENT MAGNETS

Today, outboard equipment is driven by oil-filled balanced motors with shaft seals. An important issue in the design of such motors is protection of their active zone, i.e. wound stator and rotor cores, from environment. From this standpoint, the most reliable and promising solution is seal-free submersible a.c. motors.

The study considers the permanent-magnet synchronous motor and describes its design features. Purpose of research: to identify the specifics of permanent-magnet submersible motors. Object: synchronous motor excited by permanent magnets. Subject: design of permanent-magnet synchronous motor.

Для цитирования: Зайцева Т.С. Особенности конструкции погружного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; Специальный выпуск 1: 99–102.

For citations: Zaitseva T.S. Specific features of a submersible motor excited by permanent magnets. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; Special Issue 1: 99–102 (in Russian).

The following methods were used: 1) empirical level – comparison of motor designs; 2) experimental & theoretical level – experiments, laboratory tests, analysis of materials and unit designs as well as modeling the results of electromechanical analysis; 3) theoretical level – analysis of obtained data.

The theoretical value of this study lies in the development of a submersible synchronous engine excited by permanent magnets featuring a motor-propeller of high thrust, good maintainability, and modular replacement of the rotor, stator and propeller designed as separate units to be changed in case of damage. Permanent – magnet machines are mainly used as propulsion motors.

Keywords: submersible motor excited by permanent magnets, motor, permanent magnets, motor design, rotor, stator.

The author declares no conflicts of interest.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами – подтип синхронных машин без обмоток возбуждения ротора, их роль выполняют постоянные магниты. Как и у всех синхронных электродвигателей, угловая скорость их ротора равна частоте вращающегося магнитного поля в зазоре между подвижной и неподвижной частью.

Электрические машины такого типа обладают всеми возможностями управления двигателями постоянного тока, а также достоинствами машин переменного тока.

Электродвигатели на постоянных магнитах способны обеспечить максимальную мощность в уменьшенном габарите.

В частности, они имеют следующие преимущества:

- высокую мощность и эффективность с точки зрения производительности и энергопотребления;
- длительный срок службы, устойчивость и надежность с течением времени;
- низкий уровень шума.

При всех достоинствах электродвигатели синхронного типа с постоянными магнитами имеют следующие недостатки:

- высокая стоимость материалов, которые применяются в производстве магнитов;
- невозможность развозбуждения магнитов в аварийных режимах работы.

Двигатели с постоянными магнитами управляются и работают с преобразователем частоты, который гарантирует постоянный крутящий момент в широком диапазоне скоростей, работая даже на самых низких уровнях скорости с высокой эффективностью.

При проектировании был разработан погружной синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, с проникающей рабочей полостью (без уплотнений вращающихся частей) для работы за бортом судна в морской воде с возможным наличием диа- и ферромагнитных фракций, а также абразивных частиц. Двигатель допускает возможность поворота конструкции вокруг оси вращения вала (горизонтально) на угол 60° при переходе комплекса из «маршево-

го положения» в «походное» и обратно, а также на 360° вокруг вертикальной оси.

Для возбуждения применены самарий-кобальтовые магниты $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, которые могут эксплуатироваться при высоких температурах. Рабочая температура таких магнитов может достигать 350°C . Магниты этого типа обладают превосходными стабильными магнитными свойствами, а также высокой устойчивостью к коррозии и размагничиванию. Магниты изготавливаются методами порошковой металлургии в виде брусков с определенными размерами. Для обеспечения стабильных свойств и равномерного магнитного потока со всей поверхности магнита размеры брусков выбираются небольшими: длина 10–50 мм, ширина 15–25 мм, высота 10–15 мм. После намагничивания и сортировки по основным магнитным параметрам эти магниты склеиваются по имеющейся на предприятии – поставщике магнитов технологии в массивный блок-полюс, размеры которого определяются в результате электромагнитного расчета двигателя. На рис. 1 представлена схема электродвигателя.

Для защиты постоянных магнитов от морской воды и воздействия частиц различного происхождения на наружную поверхность ротора устанавливается тонкостенная гильза, которая для обеспечения герметичности магнитов заваривается по краям. Ротор концентрично расположен во внутренней расточке статора и представляет собой сборную конструкцию, состоящую из магнитопровода, на который устанавливаются полюсные сборки постоянных магнитов. Применение возбуждения от постоянных магнитов позволило установить их в обечайку гребного винта. На рис. 2 представлена установка постоянных магнитов на кольцо магнитопровода.

Ротор двигателя фактически совмещен с гребным винтом, в отличие от традиционной конструкции, когда винт устанавливается на выходной конец вала двигателя. На рис. 3 представлен ротор электродвигателя.

При равных массогабаритных характеристиках представленная конструкция «двигатель – винт» имеет большую тягу по сравнению с традиционной конструкцией.

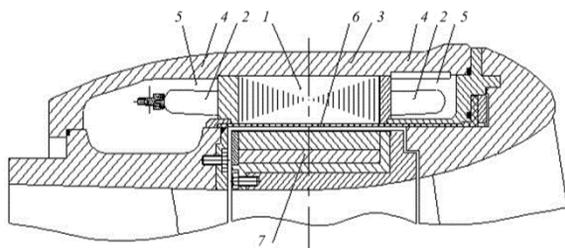


Рис. 1. Электродвигатель: 1 – сердечник статора; 2 – лобовые части обмотки ротора; 3 – корпус над сердечником статора; 4 – корпус над лобовыми частями обмотки статора; 5 – трансформаторное масло; 6 – изоляционная гильза статора; 7 – ротор с постоянными магнитами

Fig. 1. Motor: 1 – stator core; 2 – rotor winding overhang; 3 – casing over stator core; 4 – casing over rotor winding overhang; 5 – insulating oil; 6 – insulating shell of stator; 7 – rotor with permanent magnet

Узел ротора с винтом вращается в блоке опорно-упорных подшипников, закрепленном в неподвижном спрямляющем аппарате, который в свою очередь жестко закреплен с корпусом двигателя.

В корпус двигателя встроен статор, состоящий из сердечника и обмотки. Внутренняя полость статора электродвигателя заполняется трансформаторным маслом.

Для выравнивания давления во внутренней полости двигателя с давлением окружающей среды и компенсации теплового расширения трансформаторного масла полость статора двигателя имеет выносной мембранный компенсатор, который заполняется тем же трансформаторным маслом, что и полость статора.

Сердечник статора собран из штампованных сегментов изотропной электротехнической стали, запрессован в обечайку между нажимными кольцами и зафиксирован с помощью клиновых шпонок. Для увеличения жесткости сердечника листы склеиваются между собой.

В листах сердечника статора выполнены трапециевидальные полузакрытые пазы, в которые уложена концентрическая «всыпная» обмотка.

Концентрическая обмотка – обмотка, сконцентрированная вокруг зубца. Такая обмотка не имеет перекрытий в лобовых частях. Существенные преимущества концентрической обмотки:

- уменьшение вылета лобовых частей (за счет чего снижаются медные потери);
- обмотку технологически проще наматывать (за счет чего может быть снижена производственная себестоимость);
- конфигурация обмотки позволяет также снизить зубцовые колебания момента. Результаты моде-

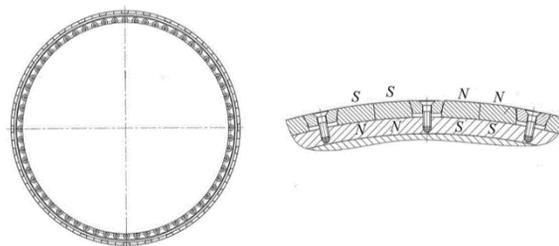


Рис. 2. Установка постоянных магнитов на кольцо магнитопровода

Fig. 2. Setup of permanent magnets on magnetic conductor ring

лирования по моменту и геометрия статора с концентрической и катушечной обмоткой представлены на рис. 4–6.

Результаты моделирования показали, что конструкция в исполнении с концентрической обмоткой статора позволяет почти в 7–10 раз снизить пульсацию момента, а также увеличить КПД двигателя.

Корпус двигателя своим фланцем крепится либо к корпусу судна, либо к винторулевой колонке, через которую проходят кабели питания. Ротор и статор защищены от воздействия внешней среды специальными гильзами. На рис. 7 представлен внешний вид электродвигателя с указанием основных частей конструкции. Двигатель такого типа обладает высокой ремонтопригодностью, способностью модульной замены. Ротор, статор и винт выполняются в виде отдельных модулей и могут быть заменены при повреждении.

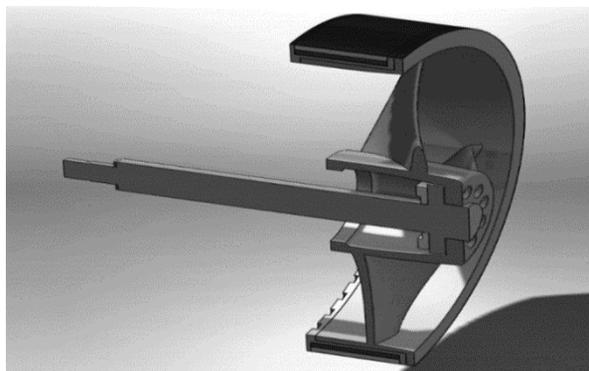


Рис. 3. Ротор двигателя

Fig. 3. Motor rotor

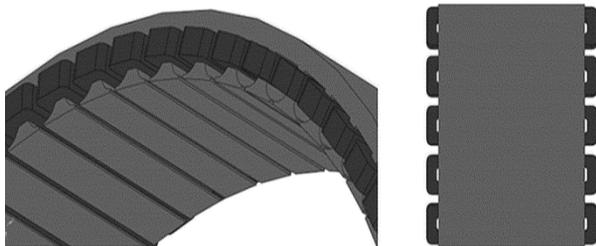


Рис. 4. Геометрия статора с концентрической обмоткой

Fig. 4. Geometry of stator with concentric winding

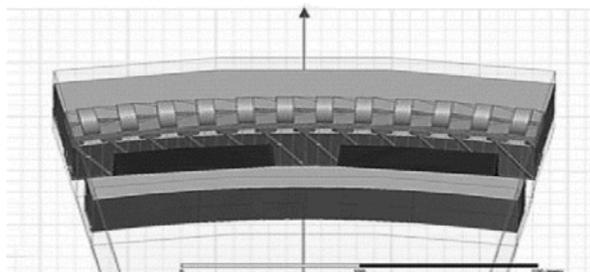


Рис. 5. Геометрия статора с катушечной обмоткой

Fig. 5. Geometry of stator with coil winding

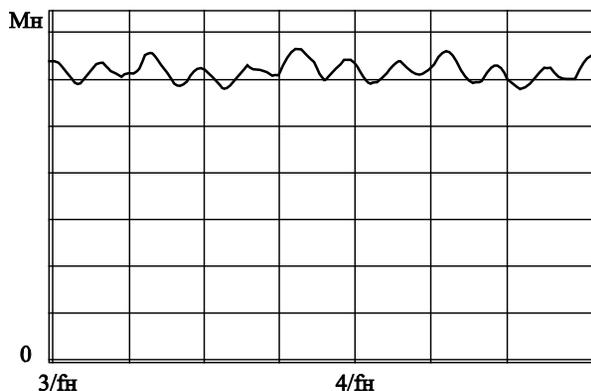
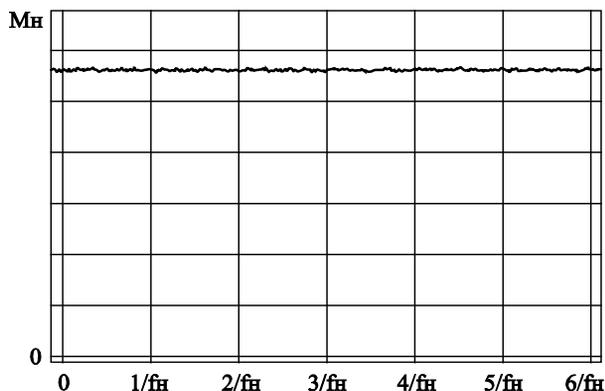


Рис. 6. Результаты моделирования с катушечной и концентрической обмоткой в номинальном режиме

Fig. 6. Modeling results for coil and concentric windings in nominal mode



В результате проведения разработки и испытаний макета, экспериментальной отработки принятых технических решений был разработан погружной синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Представленная конструкция «двигатель – винт» имеет большую тягу, что отличает его от традиционной конструкции. Кроме того, двигатель такого типа отличают высокая ремонтопригодность, способность модульной замены за счет того, что ротор,

статор и винт выполняются в виде отдельных модулей и могут быть заменены при повреждении.

Основное применение машины с возбуждением от постоянных магнитов находят в качестве гребных электродвигателей как наиболее эффективные и надежные, что отвечает требованиям для подобного оборудования. С развитием постоянных магнитов, появлением новой конструкции винтов электродвигатели такого типа имеют перспективу применения.

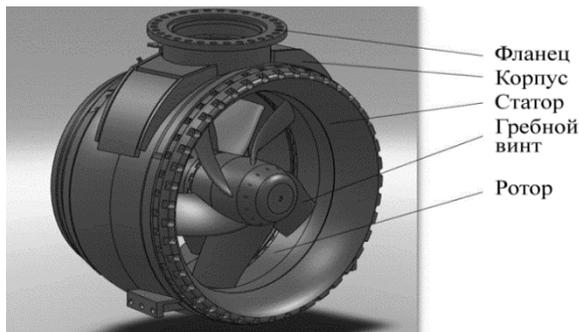


Рис. 7. Электродвигатель. Внешний вид

Fig. 7. Motor. External view

Сведения об авторе

Зайцева Татьяна Сергеевна, инженер-конструктор, АО «Силовые машины», завод «Электросила». Адрес: 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 158. E-mail: Zaytseva_TS@power-m.ru.

About the author

Tatiana S. Zaitseva, design-engineer, Electrosila, JSC “Power machines”, St. Petersburg, Russia. Address: Moskovskiy pr., 158, St. Petersburg, Russia, post code 196105. E-mail: Zaytseva_TS@power-m.ru.

Поступила / Received: 05.07.23
 Принята в печать / Accepted: 27.07.23

© Зайцева Т.С., 2023